

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-188412

(43)公開日 平成5年(1993)7月30日

(51)Int.Cl. ³	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F	1/35	7246-2K		
	1/313	7246-2K		
H 0 1 S	3/18	9170-4M		

審査請求 未請求 請求項の数6(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-25762

(22)出願日 平成4年(1992)1月16日

(71)出願人 000001007

キャノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 坂田 肇

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ
ノン株式会社内

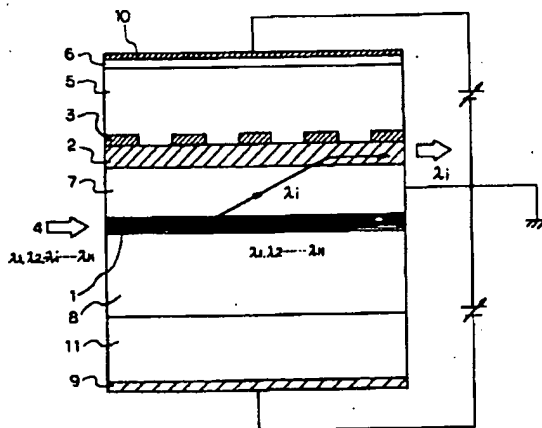
(74)代理人 弁理士 加藤 一男

(54)【発明の名称】 光半導体素子

(57)【要約】

【目的】 充分満足な性能を有する光変調器や波長可変フ
ィルタなどとして用いられる光半導体装置である。

【構成】 積層された2層の半導体導波路1、2から構成
される方向性結合器が構成され、これら2層の半導体導
波路1、2を含む層構成がp-i-n-i-pもしくは
n-i-p-i-n構造である。2層の半導体導波路
1、2がともにi層で構成され、そしてp-i-n構造
を通して独立に電圧印加制御される。使用する光が電流
注入により増幅される第2の導波路2と、電圧印加又は
電流注入により屈折率変化が起こって光フィルタリング
制御ないし光変調などを行なう第1の導波路1とが別にな
っている。そのため、第1の導波路1の屈折率制御にと
もなう吸収率の変化が第2の導波路2における光増幅
を用いて補償され、波長にかかわらず、常に、安定な透
過利得を得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 積層された2層の半導体導波路から構成される方向性結合器を有し、該2層の半導体導波路を含む層構成が、 $p-i-n-i-p$ 構造および $n-i-p-i-n$ 構造の一方であり、且つ前記2層の半導体導波路が共に i 層で構成されていることを特徴とする光半導体素子。

【請求項2】 前記2層の半導体導波路は互いに少なくとも屈折率及び層厚の一方の異なる導波路から構成されている請求項1記載の光半導体素子。

【請求項3】 前記2層の導波路に各々中心強度を有する導波モードが、相互結合する領域にグレーティングが形成されている請求項2記載の光半導体素子。

【請求項4】 前記 i 層で構成される2層の半導体導波路は、夫々、外部より $p-i-n$ 構造を通して電界を互いに独立に印加できるように構成されている請求項1記載の光半導体素子。

【請求項5】 当該光半導体素子は、波長可変フィルタとして構成されている請求項1記載の光半導体素子。

【請求項6】 当該光半導体素子は、光変調器として構成されている請求項1記載の光半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光伝送、光交換、光情報処理、光記録などに用いられる光変調器や、波長分割多重(WDM)光通信、波長分割多重光交換、光演算などに用いられる波長可変フィルタなどの光半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、駆動電圧が低く、高速駆動でき、更に半導体レーザなどの他の光電子素子との集積化が容易である半導体を利用した光変調器は既知である。例えば、電界印加による半導体(バルク構造や量子井戸構造の半導体層など)の吸収端シフトを利用した吸収型光変調器、及び電界印加による屈折率変化を利用した方向性結合器型或は全反射型変調器が知られている。

【0003】前者は $p-i-n$ 構造を持つ半導体導波路から成り、電界を印加することでフランツケルディシュ効果或はQCSE(量子閉じ込めシュタルク効果)により図8の如く吸収端がシフトして光吸収率が変化し、或る波長の光の透過率の制御が可能となるものである(Applied Physics Lett. 47, p. 1148-1150(1985)参照)。しかし、このタイプの光変調器では、消光比を向上させる為に使用波長を吸収端に近付ける必要があり、従って透過状態での透過率が低くなっていた。よって、挿入損失が大きいという欠点があった。また、吸収端波長に依存して、どんな波長の光をも変調できるものではなく使用波長すなわち被変調波長が制限されるという難点もある。

【0004】後者の方向性結合器型もしくは全反射型の

ものは、図9(a)、(b)に示す如く、2つの導波路の結合領域((a)の場合)或いは交差領域((b)の場合)に電極を設け、ここへの電界印加により屈折率変化を起こし光波の導波路間移行を行なうものである(電子通信学会研究報告OQE86-39参照)。この結果、一方の導波路出射端からの出力光に変調がかけられる。しかし、このタイプの光変調器においては、屈折率変化により光変調度を制御しているにも係らず、屈折率変化と同時に必然的に光吸収率も変化してしまう為、光変調が安定的にかけられないという欠点があった。しかも、素子長を短くする(すなわち導波路長を短くする)と共に駆動電圧の低減化を図る為に、一定電界に対して大きな屈折率変化を得ようとすると、被変調光波長の設定が光吸収の大きな波長域に近付いてしまう難点もある。

【0005】一方、従来、波長分割多重型システムにおいて、チャンネルを分割する装置として分波器が用いられている。これは、例えば、干渉フィルタやグレーティングなどの波長分散素子を用い、波長に依存して透過/反射成分に分かれたり反射角度が異なることを利用して分波を行なうものである。しかし、こうした分波器は数波長の情報を同時に受信できる反面、波長領域に多重化されている情報を空間領域に分割するので素子の面積の拡大を招き、更にそれとの関係から集積可能な光検出器の数に限度が生じて波長多重の高密度化が困難である。

【0006】これを解決する手段として波長可変フィルタがあり、これを用いれば波長多重方式に対応して1つの光検出器で十分対処でき、更に波長可変フィルタのチャンネル数を拡張すれば波長多重度の増大も図れる。波長可変フィルタとしてはTE-TMモード変換器を利用する装置(Applied Physics Lett. 53, 13, (1988)参照)、偶奇モード変換器を利用する装置(電子情報通信学会研究報告OQE81-129, (1981)参照)、SAW(表面音響波)を利用する装置(電子情報通信学会研究報告US88-42, (1988)参照)などが知られている。しかし、これらはいずれも100Å以上の広い波長可変範囲を有するものの、いずれも $LiNbO_3$ を利用した装置である為、光検出器との結合損失が問題となる。また、屈折率を電気光学効果(ポッケルス効果)により得る為に、数十Vから百数十Vといった高い電圧を必要とする。更に、GaAs、InPといった化合物半導体を用いる波長可変フィルタとして、DFB(分布帰還型)もしくはDBR(分布反射型)レーザ、或はファブリペロー型レーザを発振しきい値以下で利用するタイプ(電子情報通信学会研究報告OQE88-65, (1988)参照)が知られている。これらは、光検出器との集積化が可能で、且つ電流注入により利得を持たせ得るという利点を有する。しかし、波長可変範囲は屈折率の変化幅により、直接、決定されるので、現状では数Åから数十Å程

度の値しか得られていない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】以上説明した様に、従来の半導体導波路を利用した光変調器では、光吸収率の制御もしくは屈折率の制御を利用していたが、いずれの方法によっても挿入損失、消光比、波長調波長の自由度などにおいて満足できるものでなかった。また、従来の技術によるフィルタでも、充分満足な性能を有する波長可変フィルタが得られなかった。

【0008】従って、本発明の目的は、上記の課題に鑑み、充分満足な性能を有し得る光変調器や波長可変フィルタなどとして用いる構造を有した光半導体装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する光半導体装置においては、積層された2層の半導体導波路から構成される方向性結合器を有し、これら2層の半導体導波路を含む層構成がp-i-n-i-pもしくは、n-i-p-i-n構造であり、且つ該2層の半導体導波路がともにi層で構成され、そしてp-i-n構造を通して独立に制御される。

【0010】より具体的には、第1および第2半導体導波路は互いに少なくとも屈折率及び層厚の一方の異なる導波路から構成されていたり、これら2層の導波路に各々中心強度を有する導波モードが相互結合する領域にグレーティングが形成されたりしている。

【0011】本発明の構成によれば、使用する光が電流注入により増幅される第2の導波路と、電圧印加又は電流注入により屈折率変化が起こって光フィルタリング制御ないし光変調などを行なう第1の導波路とが別になっている。そのため、第1の導波路の屈折率制御にともなう吸収率の変化を第2の導波路における光増幅を用いて補償し、波長にかかわらず、常に、安定な透過利得を得ることができる。また、非選択波長は、第2の導波路に移行しないため、光増幅を受けることができない。そのため、選択波長と比較して、光強度レベルを低くでき、S/N比の向上をはかることができる。

【0012】

【実施例】

実施例1

図1は本発明による波長可変フィルタの実施例を示す。まず、その原理、構成を説明する。本実施例は積層型の方向性結合器を有し、これを構成する2層の導波路1、2は互いに屈折率、層厚が異なるいわゆる縦型非対称方向性結合器となっている。この方向性結合器は0次及び1次のモードが伝搬する条件を成立させており、0次モードは主に上側導波路2を伝搬し、1次モードは主に下側導波路1を伝搬する。

【0013】0次モードの伝搬定数を β_0 、1次モードの伝搬定数を β_1 とすれば、導波路1、2間の非対称性

の為に伝搬定数 β_0 、 β_1 は大きく異なっている。このとき、上側導波路を下側導波路と比較して屈折率を高く、且つ、層厚を薄くしておけば、図6のように2つの伝搬定数の関係は波長分散は異なるが、有効屈折率の値が一致する波長がある。すなわち、この波長 λ_c において、0次と1次モードの結合が生じる。

【0014】しかし、上側導波路が、下側導波路と比較して、屈折率が高く、且つ、層厚が厚い場合は、伝搬定数の一致する波長が生じない。そこで、この方向性結合器には、上側導波路2に伝搬定数差を補償するグレーティング3が形成されている。グレーティング3の周期を Λ 、入射波長を λ とすれば、

$$\beta_0(\lambda) - \beta_1(\lambda) = 2\pi/\Lambda \cdots (1)$$

を満足する波長 λ において、図7のように0次及び1次モードの結合が生じる。

【0015】以上の構成により、下側導波路1へ入射した光4は1次モードとなり、特定の波長 λ において0次モードと結合して上側導波路2への移行を起こす。それ以外の波長では0次モードと結合を起こさず、下側導波路1をそのまま伝搬する。

【0016】第1実施例の波長可変フィルタでは、上記の方向性結合器がGaAs/AlGaAsで構成されており、上側導波路2がキャリアノンドープの状態すなわちi(intrinsic)層となっており、上側導波路2の上部のクラッド層5及びコンタクト層6がp型にドープされたp層、上下導波路1、2間の中間クラッド層7がn型にドープされたn層、下側導波路層1がi層および下側導波路1の下部のクラッド層8がp型にドープされたp層となっている。つまり、2層の導波路(i層)を挟んで全体がp-i-n-i-p構造を形成している。

【0017】この構成によれば、基板側p側電極9とn型中間クラッド層7の電極(不図示)間に逆電界すなわちp側電極9に負電圧を印加すれば、i層である下側導波路1に電界が集散的に加わる。ここで、下側導波路1がMQW(多重量子井戸構造)を含む構造であれば、この逆電界によりQCSE(量子閉じ込めシュタルク効果)が生じ下側導波路1の吸収率が変化する。従って、クラマース・クロニッヒの関係で表わされる様に同時に屈折率も変化する。

【0018】その結果、下側導波路1を主に伝搬する1次モードの伝搬定数 β_1 が変化し、上記(1)式を満足する波長 λ の値が変化する(すなわち波長変化幅は屈折率変化幅により、直接、決定されてはいない)。

【0019】(1)式を満足する波長 λ は、0次モードに変換され、上側導波路2へ移行する。 λ 以外の波長、すなわち非選択波長の光は、下側導波路1を伝搬し続けるが、下側導波路1はQCSEにより吸収が増大しているため、少なからぬ減衰を受ける。

【0020】しかし、この構成によれば、n型中間クラ

5

ッド層7の電極と、上側p型コンタクト層6上の電極10間に順電界すなわち、p側電極10に正電圧を印加すれば、i層である上側導波路2にキャリアが注入される。その結果、上側導波路2は所望の波長にて、光利得を得ることになる。したがって、選択波長の光は、上部導波路2に移行し光増幅を受けることが可能で、下側導波路1で受けた減衰を補償して波長可変時にも一定の透過利得を保つことができる。

【0021】本実施例では、波長多重化された複数の波長の光信号の中から任意の波長の信号を上側導波路2に移行して出力する波長可変フィルタを構成するものである。非対称な方向性結合器とグレーティングを利用する波長フィルタは、非対称方向性結合器を構成する導波路のモード分散を用いる波長フィルタと比較して、グレーティングによるモード変換を利用する為にフィルタバンド幅の狭いフィルタ特性が得られる。

【0022】本フィルタの作製は、p-GaAs基板11の上に、順に、p-GaAsバッファ層(11に含まれる)、p-Al_{0.5}Ga_{0.5}Asクラッド層8、アンドープMQW(GaAs/Al_{0.4}Ga_{0.6}As)からなる下側導波路1(0.2μmの厚さ)、n-Al_{0.5}Ga_{0.5}As中間クラッド層7(0.7μmの厚さ)、アンドープMQW(GaAs/Al_{0.2}Ga_{0.8}As)からなる上側導波路2(0.25μmの厚さ)、p-Al_{0.2}Ga_{0.8}Asグレーティング層3(0.1μm厚さ)をMBE(分子線エピタキシー)法により成長する。次いで、レジストパターンニングによりグレーティングを形成しRIE(反応性イオンビームエッチング)法により周期9μmのコラゲーション状グレーティングをグレーティング層3に形成する。

【0023】レジスト除去後、LPE(液相エピタキシー)若しくはMOCVD法(有機金属気相成長法)によりp-Al_{0.5}Ga_{0.5}Asクラッド層5を、そしてp-GaAsコンタクト層6を成長した。

【0024】続いて、グレーティング3と直交方向にストライプパターンをレジストにより形成し、硫酸系エッチャントによりウェハをn-AlGaAs中間クラッド層7までストライプ状にエッチングした後、n-AlGaAs中間クラッド層7上にn-GaAsコンタクト層(不図示)を成長した。基板11裏面とp-コンタクト層6上にAuGe/Au9、10を、そして中間クラッド層7上のn-コンタクト層上にAuCr/Au(不図示)を蒸着し、アロイングを行なった。

【0025】以上の様に作製したフィルタに対してp-電極9と中間クラッド層7上のn-電極間に逆電圧を印加すると、アンドープMQWから成る下側導波路1に電界が加わりQCSEにより屈折率が変化する。

【0026】図2は電圧を1.0V、1.5V、2.0Vと印加した例で、下部導波路1から上部導波路2への結合効率を示している。印加電圧の変化によりバンドパ

6

スフィルタの透過帯域が短波長側へシフトする様子が分かる。

【0027】このように下側導波路1の印加電圧に応じて透過帯域はシフトすると同時に、透過率も変化する。本発明では、下部導波路1の印加電圧に応じて、上部導波路2への注入電流量を制御して、選択波長の透過利得の安定化をはかることを特徴としている。その結果、図3のように透過利得が安定な波長可変特性が得られた。これにより、多重化されたチャネルから1つの波長のチャネルをフィルタリングできる。

【0028】無論、フィルタに要求される仕様によっては、電界印加による波長シフトのみで、図2のような透過率の変動が問題にならない場合もある。しかし、本発明によれば、透過利得が常に安定するため、広い範囲で仕様を満足できるフィルタを提供することができる。

【0029】導波路をバルク層として、逆電圧印加によりフランチケルディシュ効果で屈折率変化を起こさせフィルタ特性における透過帯域のシフトを生じさせても良い。但し、素子長、グレーティング周期、深さ等は適当に設定し直す必要がある。

【0030】尚、以上の例ではGaAs系について説明したが、勿論InP/InGaAsPといった他の半導体材料を用いても良い。

【0031】実施例2

本発明による光半導体素子は、特定の波長において透過率が制御可能であり、光変調器として構成しても良い。

【0032】本実施例では、グレーティング3を付加して波長選択性を鋭くした方向性結合器を用いている為、僅かの透過帯の移行で大きな結合効率変化が生じる。すなわち、図4に示す様に、特定の波長λsを持つ被変調光に対して、僅か1V程度の差で光のON-OFFを得ることができる。

【0033】本発明の光変調器によれば、下側導波路1の屈折率制御により、透過波長帯(結合波長帯)のシフトを行ない、被変調光の変調を行なうと同時に、上側導波路1の利得制御により、同じく被変調光の変調を行なうことができる。そのため、被変調光の波長によらず極めて消光比が高く、且つ変調度の深い光変調器が得られる。

【0034】本実施例の光変調器は、第1の実施例と同様である。但し、下側導波路1はアンドープMQWからなり、電子-重い正孔間のエネルギーギャップは、1.50eVすなわち波長で824nmであり、被変調光の波長835nmに対して、吸収率の変化が激しいが、同時に屈折率変化も大きい。

【0035】上側導波路2はアンドープAl_{0.06}Ga_{0.94}Asからなり、光利得のピーク波長が835nm付近にあり、低い注入電流量で充分な光利得を得ることができる。

【0036】以上の本実施例では、入力として2GHz

のNRZ信号を印加したCWの入力光(連続光)の出力強度を観察したところ極めて良好な追従波形が得られた。

【0037】本実施例の光変調器は、導波路の伝搬に伴う散乱損失や屈折率制御時の吸収損失を補償できるため、挿入損失を消すことができる。さらに、透過帯域の制御により、透過光強度を極めて低くすることができ、且つ独立な光利得の制御により、透過光強度を充分高めることもできる。そのため、被変調光の消光比を容易に30dB以上に上げることができる。又、設定波長が自由なため、広い波長域にわたって有効な光変調器を提供することができる。

【0038】以上の第1、第2実施例では、屈折率制御を逆電圧印加によるQCSEで得たが、勿論、バルク結晶におけるフランツケルディッシュ効果を利用したり、順電圧印加によるキャリア注入に基づくプラズマ効果、バンドフィリング効果というキャリア量変化による屈折率変化を利用しても良い。

【0039】本発明の原理によれば、僅かの屈折率変化により上記(1)式の関係を介して充分な変調度が得られるため(1)式中の $\beta_0(\lambda)$ 、 $\beta_1(\lambda)$ の λ が変化すること、キャリア注入により付随的に生じる熱発生も低く押えることができる。

【0040】実施例3

図5は光変調器の第3実施例を示す。第3実施例ではグレーティングを、上記実施例の如く上側導波路ではなく上下導波路の中間部に形成している。本実施例は以下の如く作製される。

【0041】MBE法により、 n^+ -GaAs基板51上に、 n -GaAsバッファ層(不図示)($n=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を0.5 μm 厚で、 n -Al_{0.5}Ga_{0.5}Asクラッド層($n=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)52を1.5 μm 厚で、アンドープMQW(GaAs/Al_{0.4}Ga_{0.6}As)下側導波路層53を0.1 μm 厚で、 p -Al_{0.5}Ga_{0.5}As中間クラッド層($p=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)54を0.4 μm 厚で、GaAs(厚さ50Å、井戸)/Al_{0.5}Ga_{0.5}As(厚さ100Å、バリア)から成る p -MQW層($p=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)55を0.1 μm 厚で成長した。

【0042】続いて、フォトリソグラフィ法により、MQW層55を周期8 μm のグレーティングに形成し、再び p -Al_{0.5}Ga_{0.5}As中間クラッド層($p=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)56を0.4 μm 厚で、アンドープAl_{0.06}Ga_{0.94}As上側導波路層(ノンドープ)57を0.3 μm 厚で、 n -Al_{0.5}Ga_{0.5}Asクラッド層($n=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)58を1.5 μm 厚で、 n^+ -GaAsコンタクト層($n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)59を0.5 μm 厚でMOCVD法により成長した。更に、第1実施例の工程と同様にして、 p -AlGaAs中間クラッド層から p -電極を取り出して、光変調器を形成

した。

【0043】本実施例では、電界印加により屈折率、吸収率が変化する下側導波路(i 層)53と、0次モードと1次モードの結合が行なわれるグレーティング55とが分離されている。その為、下側導波路53を伝搬する1次モードの分布が上側導波路57に及んでいなくてもグレーティング部55で0次モード(上側導波路57を中心に伝搬するモード)との結合が起こる。よって、下側導波路53を伝搬する1次モードが上側導波路57の吸収を受ける割合は、先の実施例と比べて低くなる様に設計できる。

【0044】ところで、以上の実施例のグレーティング形成位置はあくまで例示であり、その位置は両導波路を夫々中心として伝搬する両モードの結合する位置ならいずれでもよい。例えば、下側導波路に形成しても同様の効果が得られる。

【0045】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明によれば、2層の積層された導波路に独立に電界が加わるように、導波路を i 層とした $p-i-n-i-p$ 又は $n-i-p-i-n$ 構造とすることにより、挿入損失ないし伝搬損失が無視でき、低電圧駆動が可能で、広い波長可変範囲を得られる波長分割多重型光通信、光交換、光演算などに好適な光変調器やフィルタなどの光半導体装置が実現される。また、こうしたデバイスは他の光検出器、レーザなどの光電子素子との集積化に適する。

【0046】更に、波長可変フィルタとしては波長間クロストークが低く短い素子長とできたり、また光変調器としては変調度が深く消光比が高く、被変調波長の自由度の高いものとできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の断面図。

【図2】印加電圧に対する透過率を示す図。

【図3】印加電圧に対する透過率を示す図。

【図4】第2実施例を説明する図。

【図5】第3実施例を示す断面図。

【図6】本発明の光半導体素子の原理を示す図。

【図7】本発明の光半導体素子の原理を示す図。

【図8】GaAs/AlGaAs多重量子井戸構造の光吸収スペクトルを示す図。

【図9】(a)、(b)は従来の光変調器の概形を示す図。

【符号の説明】

1, 53・・・下側導波路

2, 57・・・上側導波路

3, 55・・・グレーティング

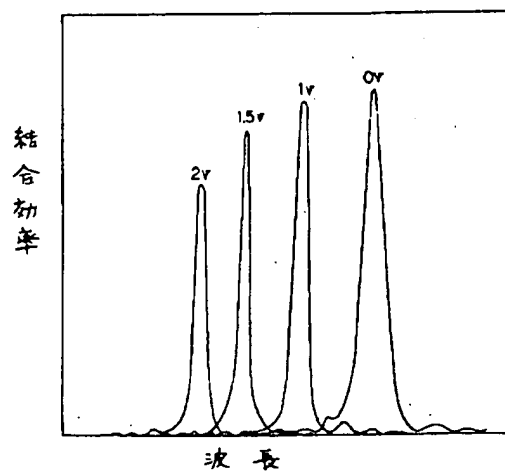
5, 7, 8, 52, 54, 56, 58・・・クラッド層

6, 59・・・コンタクト層

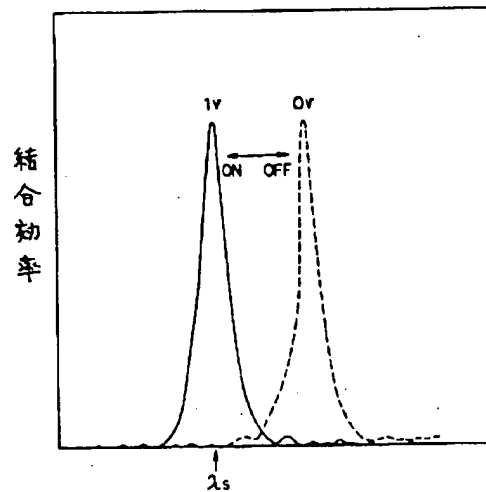
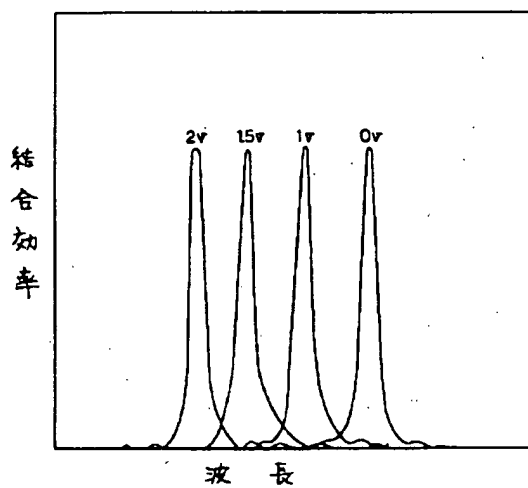
11, 51・・・基板

9, 10, 60, 61・・・電極

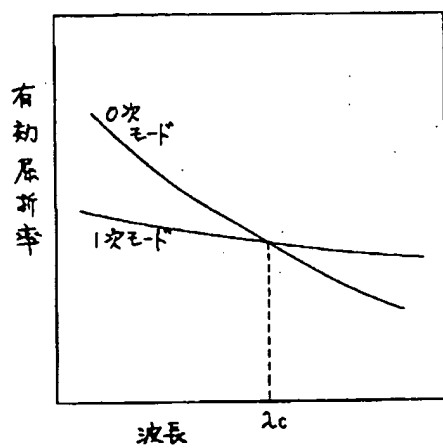
【圖2】.



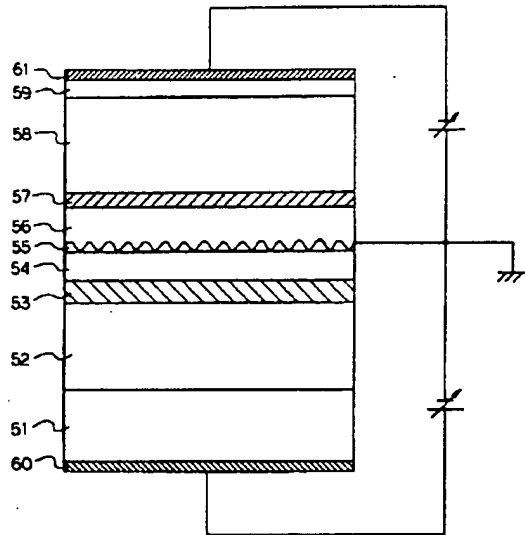
【圖4】



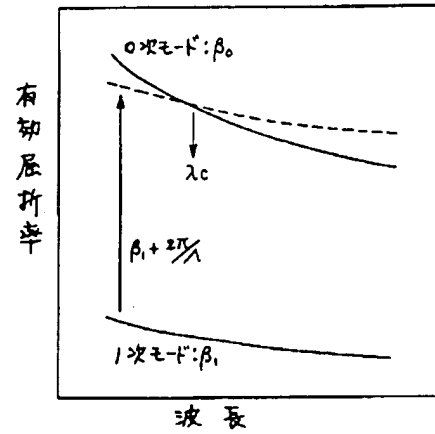
【図6】



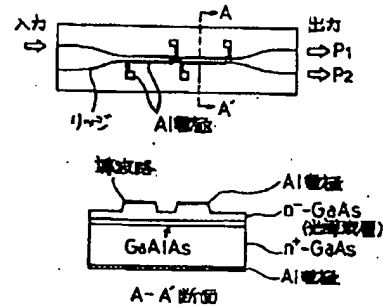
【図5】



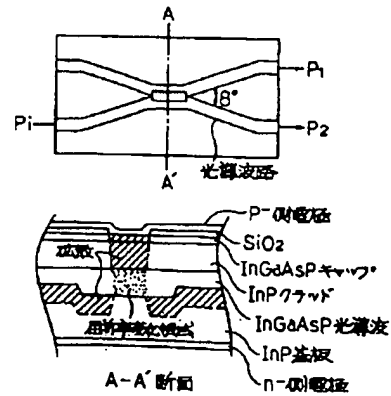
【図7】



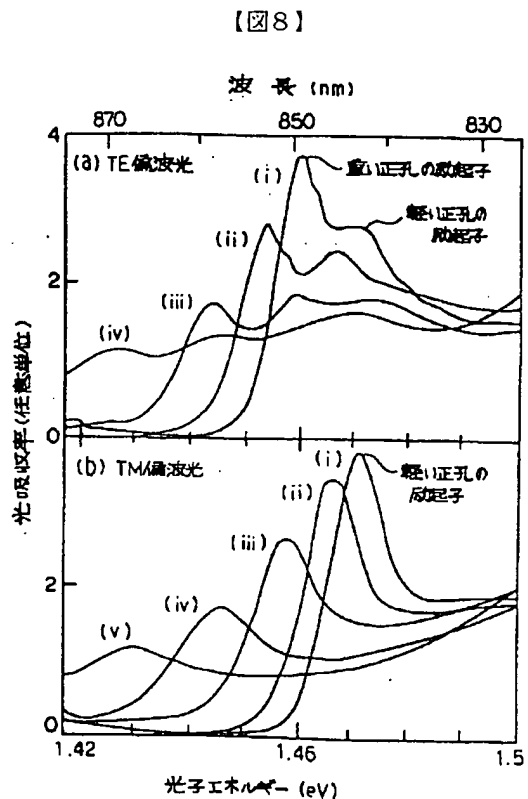
【図9】



(a) GaAs 方向性結合型光スイッチの平面図および断面図



(b) InP 全反射型光スイッチの平面図および断面図



GaAs/AlGaAs MQW 光導波路の光吸収スペクトル
 (i) 1.6×10^4 (V/cm)
 (ii) 1.0×10^5
 (iii) 1.3×10^5
 (iv) 1.8×10^5
 (v) 2.2×10^5

印加する直流電界

CLIPPEDIMAGE= JP405188412A

PAT-NO: JP405188412A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 05188412 A

TITLE: OPTICAL SEMICONDUCTOR ELEMENT

PUBN-DATE: July 30, 1993

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

SAKATA, HAJIME

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

CANON INC

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP04025762

APPL-DATE: January 16, 1992

INT-CL (IPC): G02F001/35;G02F001/313 ;H01S003/18

US-CL-CURRENT: 359/327

ABSTRACT:

PURPOSE: To obtain the optical semiconductor with which an insertion loss and propagation loss are negligible, low-voltage driving is possible and a wide wavelength variable range is obtainable by forming the semiconductor into a p-i-n-i-p or n-i-p-i-n structure provided with the waveguides as i layers in such a manner that electric fields are applied independently to two layers of the laminated waveguides.

CONSTITUTION: A directional coupler constituted of two layers of the laminated semiconductor waveguides 1, 2 is constituted. The layer constitution including two layers of these semiconductor waveguides 1, 2 is the p-i-n-i-p or n-i-p-i-n

structure. Two layers of the semiconductor waveguides 1, 2 are both constituted of the i layer and the voltage impression is independently controlled through the p-i-n structure. The 2nd waveguide 2 where the light to be used is amplified by current implantation and the 1st waveguide 1 where a refractive index change is induced by the voltage impression or current implantation and optical filtering control and optical modulation, etc., are executed are separately formed. The change in the refractive index arising from the refractive index control of the 1st waveguide 1 is, therefore, compensated by using the optical amplification in the 2nd waveguide 2 and always a stable transmission gain is obtd. regardless of wavelengths.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to OPTO semiconductor devices, such as a wavelength adjustable filter used for the optical modulator used for an optical transmission, optical exchange, optical information processing, optical recording, etc., wavelength division multiplex (WDM) optical communication, wavelength division multiplex light exchange, an optical operation, etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, the optical modulator for which driver voltage was low, and the high-speed drive of it could be carried out, and it used the semiconductor with still easier integration with other photoelectron elements, such as semiconductor laser, is known. For example, the absorbed type optical modulator using the absorption end shift of the semiconductors (semiconductor layer of bulk structure or quantum well structure etc.) by electric-field impression and the directional coupler type using the refractive-index change by electric-field impression, or the total reflection type modulator is known.

[0003] The former consists of a semiconductor waveguide with p-i-n structure, the absorption end shifts like drawing 8 by the Franz Keldysh effect or QCSE (quantum ***** Stark effect) by impressing electric field, the rate of an optical absorption changes, and it becomes controllable [the permeability of the light of a certain wavelength] (Applied Physics Lett.47, p.1148 -1150 (1985) reference). However, in this type of optical modulator, in order to raise an extinction ratio, operating wavelength needed to be brought close to the absorption end, therefore the permeability in a transparency state was low. Therefore, there was a fault that an insertion loss was large. Moreover, there is also a difficulty that cannot modulate the light of any wavelength and operating wavelength, i.e., modulated wave length, is restricted depending on an absorption edge wavelength.

[0004] As shown in drawing 9 (a) and (b), the latter directional coupler type or a total reflection type thing prepares an electrode in the joint field (in the case of (a)) or intersection field (in the case of (b)) of two waveguides, causes refractive-index change by electric-field impression to here, and performs the shift between waveguides of a light wave (86 to Institute of Electronics and Communication Engineers research report OQE39 reference). Consequently, a modulation is applied to output light from one waveguide outgoing radiation edge. however, the degree of light modulation is controlled by refractive-index change in this type of optical modulator -- **** -- it did not start, but refractive-index change, simultaneously since the rate of an optical absorption also changed inevitably, there was a fault that light modulation was not applied stably and element length -- short -- carrying out (that is, waveguide length being shortened) -- in order to attain reduction-ization of driver voltage, when it is going to obtain a big refractive-index change to fixed electric field, the difficulty of approaching the big wavelength region of an optical absorption also has a setup of become irregular light wave length

[0005] On the other hand, in the wavelength division multiplex type system, the splitter is conventionally used as equipment which divides a channel. Using wavelength-dispersion elements, such as an interference filter and a grating, depending on wavelength, it is divided into transparency/reflective

component, or this separates spectrally using the degrees of angle of reflection differing. However, since the information multiplexed by the wavelength field is divided into a space field while several waves of information is simultaneously receivable, expansion of the area of an element is caused, a limit arises in the number of light sensitive cells further accumulable from a relation with that, and wavelength multiplex densification is difficult for such a splitter.

[0006] There is a wavelength adjustable filter as a means to solve this, if this is used, corresponding to wavelength multiplex system, it can be enough coped with by one light sensitive cell, and if the number of channels of a wavelength adjustable filter is extended further, increase of a wavelength multiplicity can also be aimed at. It is equipment (Applied Physics Lett. 53, 13, reference (1988)) which uses a TE-TM mode converter as a wavelength adjustable filter. The equipment (the electronic-intelligence communication society research report OQE 81-129, reference (1981)) using a parity mode converter, the equipment (the electronic-intelligence communication society research report US 88-42, reference (1988)) using SAW (surface acoustic wave), etc. are known. However, although each of these has the large wavelength adjustable range of 100Å or more, since it is equipment using all LiNbO₃, joint loss with a light sensitive cell poses a problem. In order [moreover,] to obtain a refractive index by the electro-optical effect (Pockels effect) -- dozens -- V-100 -- dozens -- the high voltage V is needed. Furthermore, the type (the electronic-intelligence communication society research report OQE 88-65, reference (1988)) which uses DFB (distribution feedback type), DBR (distribution reflection type) laser, or the Fabry-Perot laser below with an oscillation threshold is known as a wavelength adjustable filter using compound semiconductors, such as GaAs and InP. These have the advantage that integration with a light sensitive cell is possible, and gain can be given by current pouring. However, since the wavelength adjustable range is directly determined by the change width of face of a refractive index, in the present condition, only the value of about 10Å of numbers is acquired from several angstroms.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Although control of the rate of an optical absorption or control of a refractive index was used in the optical modulator using the conventional semiconductor waveguide as explained above, it was not what can be satisfied in the flexibility of an insertion loss, an extinction ratio, and modulated wave length etc. by any method. Moreover, the wavelength adjustable filter which has a performance also with the sufficiently satisfactory filter by the Prior art was not obtained.

[0008] Therefore, the purpose of this invention is to offer an optical semiconductor device with the structure where it can use as the optical modulator which may have a sufficiently satisfactory performance, a wavelength adjustable filter, etc., in view of the above-mentioned technical problem.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In the optical semiconductor device which attains the above-mentioned purpose, it has the directional coupler which consists of two-layer semiconductor waveguides by which the laminating was carried out, and the lamination containing a semiconductor waveguide two-layer [these] is p-i-n-i-p or n-i-p-i-n structure, both these two-layer semiconductor waveguides consist of i layers, and it is independently controlled through p-i-n structure.

[0010] More specifically, the 1st and 2nd semiconductor waveguides consist of waveguides from which either a refractive index or thickness differs at least mutually, or the grating is formed in the field as for which the trapped mode which has main intensity respectively carries out cross coupling to a waveguide two-layer [these].

[0011] According to the composition of this invention, the 2nd waveguide by which the light to be used is amplified by current pouring, and the 1st waveguide which refractive-index change takes place by voltage impression or current pouring, and performs optical filtering control or light modulation are another. Therefore, change of the absorption coefficient accompanying refractive-index control of the 1st waveguide can be compensated using the optical amplification in the 2nd waveguide, and stable transparency gain can always be acquired irrespective of wavelength. Moreover, since non-choosing wavelength does not shift to the 2nd waveguide, optical amplification cannot be received. Therefore, as compared with selection wavelength, optical on-the-strength level can be made low, and improvement in

a S/N ratio can be aimed at.

[0012]

[Example]

Example 1 drawing 1 shows the example of the wavelength adjustable filter by this invention. First, the principle and composition are explained. this example has a laminating type directional coupler, and the two-layer waveguides 1 and 2 which constitute this serve as the so-called vertical-mold unsymmetrical directional coupler with which a refractive index differs from thickness mutually. This directional coupler is satisfying the conditions which zero-order and the primary mode spread, zero-order mode mainly spreads the top waveguide 2, and the primary mode mainly spreads the bottom waveguide 1.

[0013] Propagation constants β_0 and β_1 differ greatly the propagation constant in β_0 or primary mode in the propagation constant in zero-order mode for the asymmetry between β_1 then a waveguide 1, and 2. At this time, it is [waveguide / top] high in a refractive index as compared with a bottom waveguide, and if thickness is made thin, as for a wavelength dispersion, the wavelength which corresponds although it differs has the relation of two propagation constants like drawing 6. That is, combination in zero-order and the primary mode arises in this wavelength λ_C .

[0014] However, the wavelength with which the top waveguide of a propagation constant corresponds highly [a refractive index] as compared with a bottom waveguide when thickness is thick does not arise. Then, the grating 3 which compensates the top waveguide 2 for a propagation constant difference is formed in this directional coupler. It is λ , then $\beta_0(\lambda) - \beta_1(\lambda) = 2\pi/\lambda$ about λ and incident wave length in the period of a grating 3... (1)

In the wavelength λ which carries out ** satisfactory, combination in zero-order and the primary mode arises like drawing 7.

[0015] By the above composition, the light 4 which carried out incidence to the bottom waveguide 1 serves as the primary mode, combines with zero-order mode in the specific wavelength λ , and causes the shift to the top waveguide 2. On the other wavelength, zero-order mode and combination are not caused but the bottom waveguide 1 is spread as it is.

[0016] The above-mentioned directional coupler is constituted from the wavelength adjustable filter of the 1st example by GaAs/AlGaAs. The top waveguide 2 will have been in the state of a carry anone dope, i.e., i (intrinsic) layer. n layers by which p layers by which the upside clad layer 5 and the upside contact layer 6 of the top waveguide 2 were doped by p type, the vertical waveguide 1, and the middle clad layer 7 between two were doped by n type, and the bottom waveguide layer 1 are p layers by which i layers and the clad layer 8 of the lower part of the bottom waveguide 1 were doped by p type. That is, on both sides of a two-layer waveguide (i layers), the whole forms p-i-n-i-p structure.

[0017] If negative voltage is impressed to the reverse electric field 9, i.e., p lateral electrode, between the substrate side p lateral electrode 9 and the electrode (un-illustrating) of n type middle clad layer 7 according to this composition, electric field will join intensively the bottom waveguide 1 whose number is i. Here, if it is the structure where the bottom waveguide 1 contains MQW (multiplex quantum well structure), QCSE (quantum Stark effect) will arise by this reverse electric field, and the absorption coefficient of the bottom waveguide 1 will change. Therefore, a refractive index also changes simultaneously so that it may be expressed with a Kramers-Kronig relation.

[0018] Consequently, the propagation constant β_1 in the primary mode which mainly spreads the bottom waveguide 1 changes, and the value of the wavelength λ with which are satisfied of the above-mentioned (1) formula changes (that is, wavelength change width of face is not directly determined by refractive-index change width of face).

[0019] (1) The wavelength λ with which are satisfied of a formula is changed into zero-order mode, and shifts to the top waveguide 2. although the light of wavelength other than λ , i.e., non-choosing wavelength, continues spreading the bottom waveguide 1, since absorption is increasing by QCSE, the bottom waveguide 1 receives ***** in **

[0020] However, a carrier will be poured into the top waveguide 2 whose number is i if right voltage is impressed to the order electric field 10, i.e., p lateral electrode, between the electrode of n type middle clad layer 7, and the electrode 10 on the top p type contact layer 6 according to this composition.

Consequently, the top waveguide 2 will acquire optical gain on desired wavelength. Therefore, it shifts to the up waveguide 2 and the light of selection wavelength can receive optical amplification, can compensate the attenuation received by the bottom waveguide 1, and can maintain fixed transparency gain also at the time of wavelength adjustable.

[0021] The wavelength adjustable filter which shifts and outputs the signal of arbitrary wavelength to the top waveguide 2 out of the lightwave signal of two or more wavelength by which wavelength multiplex was carried out consists of this examples. In order that the wavelength filter using an unsymmetrical directional coupler and an unsymmetrical grating may use the mode transformation by the grating as compared with the wavelength filter using the mode dispersion of the waveguide which constitutes an unsymmetrical directional coupler, the narrow filter shape of a filter bandwidth is obtained.

[0022] In order production of this filter on the p+-GaAs substrate 11 A p-GaAs buffer layer (contained in 11), The p-aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As clad layer 8, the bottom waveguide 1 (thickness of 0.2 micrometers) which consists of undoping MQW (GaAs/aluminum_{0.4}Ga_{0.6}As), The n-aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As middle clad layer 7 (thickness of 0.7 micrometers), The top waveguide 2 (thickness of 0.25 micrometers) and the p-aluminum_{0.2}Ga_{0.8}As grating layer 3 (0.1-micrometer thickness) which consist of undoping MQW (GaAs/aluminum_{0.2}Ga_{0.8}As) are grown up by the MBE (molecular beam epitaxy) method. Subsequently, a grating is formed by resist patterning and a colla tempestade GESHON-like grating with a period of 9 micrometers is formed in the grating layer 3 by the RIBE (reactant ion beam etching) method.

[0023] The p-aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As clad layer 5 and the p+-GaAs contact layer 6 were grown up after resist removal by LPE (liquid phase epitaxy) or the MOCVD method (organic-metal vapor growth).

[0024] Then, after forming the stripe pattern in the grating 3 and the rectangular direction by the resist and *****ing a wafer in the shape of a stripe to the n-AlGaAs middle clad layer 7 by sulfuric-acid system etchant, the n-GaAs contact layer (un-illustrating) was grown up on the n-AlGaAs middle clad layer 7. The vacuum evaporatio of AuCr/Au (un-illustrating) was carried out on substrate 11 rear face and p-contact layer 6 on n-contact layer on AuGe/Au 9 and 10 and the middle clad layer 7, and alloying was performed.

[0025] If reverse voltage is impressed to the n-inter-electrode on the p-electrode 9 and the middle clad layer 7 to the filter produced as mentioned above, electric field will join the bottom waveguide 1 which consists of Undoping MQW, and a refractive index will change with QCSE(s).

[0026] Drawing 2 is the example which impressed voltage with 1.0V, 1.5V, and 2.0V, and shows the joint efficiency from the lower waveguide 1 to the up waveguide 2. Signs that the transparency band of a band pass filter shifts to a short wavelength side by change of applied voltage are known.

[0027] Thus, since permeability also changes at the same time it shifts a transparency band according to the applied voltage of the bottom waveguide 1, in this invention, it is characterized by controlling the amount of inrush currents to the up waveguide 2, and achieving stabilization of the transparency gain of selection wavelength according to the applied voltage of the lower waveguide 1. Consequently, wavelength variable characteristics with stable transparency gain was obtained like drawing 3. Thereby, the channel of one wavelength is filterable from a multiplex channel.

[0028] Of course, depending on the specification required of a filter, it is only a wavelength shift by electric-field impression, and change of permeability like drawing 2 may not become a problem. However, according to this invention, since transparency gain is always stabilized, the filter which can satisfy specification in the latus range can be offered.

[0029] By using a waveguide as a bulk layer, refractive-index change is made to cause by the Franz Keldysh effect by reverse voltage impression, and the shift of the transparency band in a filter shape may be produced. However, it is necessary to reset up element length, a grating period, the depth, etc. suitably.

[0030] In addition, although the above example explained the GaAs system, of course, you may use other semiconductor materials called InP/InGaAsP.

[0031] The OPTO semiconductor device by example 2 this invention can control permeability in

specific wavelength, and may be constituted as an optical modulator.

[0032] At this example, since the directional coupler which added the grating 3 and made wavelength-selection nature sharp is used, a big joint efficiency change arises in shift of few transparency bands. That is, as shown in drawing 4, to a light with specific wavelength λ_S become irregular, small or ON-OFF of light can be obtained with an about [1V] difference.

[0033] While according to the optical modulator of this invention shifting a transmitted wave length band (coupled-wave length band) and modulating light become irregular by refractive-index control of the bottom waveguide 1, similarly light become irregular can be modulated by the gain control of the top waveguide 1. Therefore, it is not based on the wavelength of a light become irregular, but the deep optical modulator of a modulation factor is obtained very highly [an extinction ratio].

[0034] The optical modulator of this example is the same as that of the 1st example. However, the bottom waveguide 1 consists of undoping MQW, and is an electron. - Although the energy gap between heavy electron holes is 824nm in 1.50eV, i.e., wavelength, and its change of an absorption coefficient is sharp to the wavelength of 835nm of a light become irregular, refractive-index change is also simultaneously large.

[0035] The top waveguide 2 consists of undoping aluminum_{0.06}Ga_{0.94}As, has the peak wavelength of optical gain near 835nm, and can acquire sufficient optical gain in the low amount of inrush currents.

[0036] In the above this example, when the output intensity of the input light (continuation light) of CW which impressed the 2GHz NRZ signal as an input was observed, the very good flattery wave was acquired.

[0037] Since the optical modulator of this example can compensate the scattering loss accompanying propagation of a waveguide, and the absorption loss at the time of refractive-index control, it can erase an insertion loss. Furthermore, transmitted light intensity can be made very low by control of a transparency band, and control of independent optical gain can also raise transmitted light intensity enough. Therefore, the extinction ratio of a light become irregular can be easily raised to 30dB or more. Moreover, setting wavelength can offer an effective optical modulator over eye a free hatchet and a large wavelength region.

[0038] In the 1st of a more than, and the 2nd example, although refractive-index control was obtained by QCSE by reverse voltage impression, of course, the Franz Keldysh effect in a bulk crystal may be used, or the refractive-index change by amount change of carriers called the plasma effect and the band filling effect based on carrier pouring by forward voltage impression may be used.

[0039] According to the principle of this invention, since sufficient modulation factor is obtained by slight refractive-index change through the relation of the above-mentioned (1) formula (λ of β_0 (λ) and β_1 (λ) in (1) formula should change), the heat release subordinately produced by carrier pouring can also be pressed down low.

[0040] Example 3 drawing 5 shows the 3rd example of an optical modulator. In the 3rd example, the grating is formed in the pars intermedia of not a top waveguide but a vertical waveguide like the above-mentioned example. this example is produced as the following.

[0041] By the MBE method, a n-GaAs buffer layer (un-illustrating) ($n=2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) on the n+-GaAs substrate 51 by 0.5-micrometer ** The n-aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As clad layer ($n=1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) 52 by 1.5-micrometer ** The undoping MQW (GaAs/aluminum_{0.4}Ga_{0.6}As) bottom waveguide layer 53 by 0.1-micrometer ** The p-aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As middle clad layer ($p=1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) 54 by 0.4-micrometer

* The p-MQW layer ($p=1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) 55 which consists of GaAs(50Å [in thickness], well)/aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As (100Å in thickness, barrier) was grown up by 0.1-micrometer **.

[0042] The MQW layer 55 is formed in a grating with a period of 8 micrometers by the photo lithography method. again the p-aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As middle clad layer ($p=1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) 56 then, by 0.4-micrometer ** The undoping aluminum_{0.06}Ga_{0.94}As top waveguide layer (non dope) 57 by 0.3-micrometer ** The n+-GaAs contact layer ($n=1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 59 was grown up by the MOCVD method by 1.5-micrometer ** in the n-aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As clad layer ($n=1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) 58 at 0.5-micrometer **. Furthermore, like the process of the 1st example, p-electrode was taken out from the p-AlGaAs middle clad layer, and the optical modulator was formed.

[0043] In this example, the bottom waveguide (i layers) 53 from which a refractive index and an absorption coefficient change with electric-field impression, and the grating 55 to which combination in zero-order mode and the primary mode is performed are separated. For the reason, even if the distribution in the primary mode which spreads the bottom waveguide 53 has not attained to the top waveguide 57, combination with zero-order mode (mode spread focusing on the top waveguide 57) takes place in the grating section 55. Therefore, the rate in which the primary mode which spreads the bottom waveguide 53 receives absorption of the top waveguide 57 can be designed so that it may become low compared with a previous example.

[0044] By the way, the grating formation position of the above example may be instantiation to the last, and if it is the position which both the modes that spread both waveguides as a center, respectively combine, any are sufficient as the position. For example, the same effect is acquired even if it forms in a bottom waveguide.

[0045]

[Effect of the Invention] By considering as p-i-n-i-p or n-i-p-i-n structure which made the waveguide i layers, an insertion loss or a propagation loss can be disregarded and optical semiconductor devices, such as an optical modulator possible a low-battery drive and suitable for the wavelength division multiplex type optical communication which can acquire the large wavelength adjustable range, optical exchange, an optical operation, etc., and a filter, are realized so that electric field may be added independently of [as explained above / according to this invention] the two-layer waveguide by which the laminating was carried out. Moreover, such a device is suitable for integration with photoelectron elements, such as other light sensitive cells and laser.

[0046] Furthermore, as a wavelength adjustable filter, the cross talk between wavelength can be done with low short element length, and as an optical modulator, a modulation factor is deep, and an extinction ratio is high and is made with what has the high flexibility of modulated wave length.

[Translation done.]